

TU Delft
Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen
Subfaculteit Civiele Techniek
Sectie Gezondheidstechniek

Tentamen CT3420 - Gezondheidstechniek

Datum : 21 augustus 2007
Tijd : 9.00 - 12.00

Er zijn 4 vragen die even zwaar zullen worden gewogen. Bij alle vragen staat voorop dat u inzicht moet tonen in de materie. Motiveer steeds uw antwoord en vraag u af of het antwoord compleet is.

Indien er onduidelijkheden zijn betreffende de vraagstelling, meld deze dan om verwarring te voorkomen.

Gebruik voor iedere vraag een apart antwoordvel. Voorzie ieder vel van uw naam en studienummer.

Overzicht vragen

1. Grondwater
2. Oppervlaktewater
3. Riolering
4. Afvalwaterbehandeling

Algemene gegevens

Tabel 1 - Atoommassa van de belangrijkste elementen in de waterchemie.

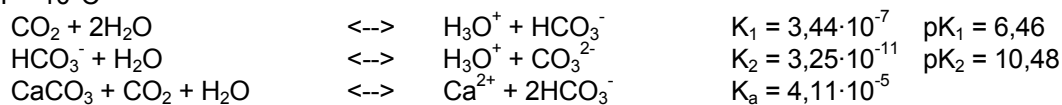
Element	Atoommassa	Element	Atoommassa
H	1	S	32
C	12	Cl	35.5
N	14	K	39
O	16	Ca	40
F	19	Mn	55
Na	23	Fe	56
Mg	24	As	75
Al	27	Pb	207
P	31		

Tabel 2 - Dynamische en kinematische viscositeit als functie van de temperatuur.

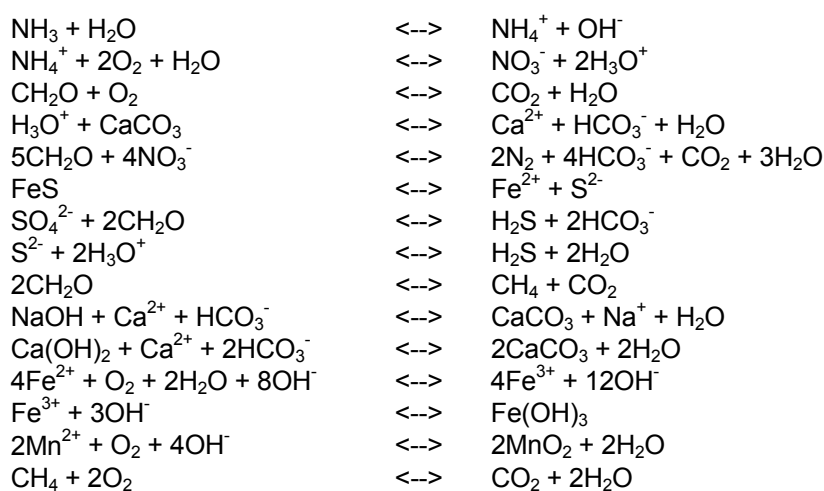
Temperatuur [°C]	Dynamische viscositeit [10^{-3} Pa·s]	Kinematische viscositeit [10^{-6} m ² /s]
0	1,79	1,79
5	1,52	1,52
10	1,31	1,31
15	1,15	1,15
20	1,01	1,01
25	0,90	0,90
30	0,80	0,80

Relevante formules waterchemie:

bij T = 10°C



Gasuitwisseling: $\frac{dc}{dt} = k_2 \cdot (c_s - c), \quad \frac{c_s - c}{c_s - c_0} = e^{-k_2 \cdot t}$



Toelaatbare oppervlaktebelasting zandvangens = 40 m/h

Tabel 3 - k_D -waarden voor verschillende gassen als functie van de temperatuur.

k_D	0°C	10°C	20°C
Stikstof	0,023	0,019	0,016
Zuurstof	0,049	0,039	0,033
Methaan	0,055	0,043	0,034
Kooldioxide	1,710	1,230	0,942
Zwavelwaterstof	4,690	3,650	2,870
Tetrachlooretheen	-	3,380	1,880
Trichlooretheen	-	4,100	2,390
Chloroform	-	9,620	5,070

Tabel 4 – Samenstelling lucht in volumeprocenten bij 10°C en onder atmosferische druk (101325 Pa).

Gas	Samenstelling [volumeprocenten]
Stikstof	78,084
Zuurstof	20,948
Argon	0,934
Koolzuur	0,034
Methaan	0,0001

Overlaatformule:

$$Q = mBh^{\frac{3}{2}}$$

Waarin:

- Q debiet in m^3/s
- m overlaatcoëfficiënt in $m^{0,5}/s$
- h dikte overstortende straal in m

Lokale verliezen:

$$\Delta H = \xi \frac{Q|Q|}{2gA^2}$$

Waarin:

- ΔH verlies aan energiehogte in m
- ξ Verliescoëfficiënt (dimensieloos)
- Q debiet in m^3/s
- A oppervlakte van de natte doorsnede in m^2
- g zwaartekrachtversnelling in m/s^2

Wrijvingsverlies in een leiding:

$$\Delta H = \frac{Q|Q|L}{C^2 R_h A^2}$$

Waarin

ΔH	verlies aan energiehoogte in m
C	Chezy coëfficiënt in $m^{0.5}/s$
Q	debiet in m^3/s
L	lengte van de leiding
R_h	hydraulische straal in m
A	oppervlakte van de natte doorsnede in m^2

De hydraulische straal R_h is gedefinieerd als:

$$R_h = \frac{A}{P}$$

Waarin:

A	oppervlakte van de natte doorsnede in m^2
P	natte omtrek in m

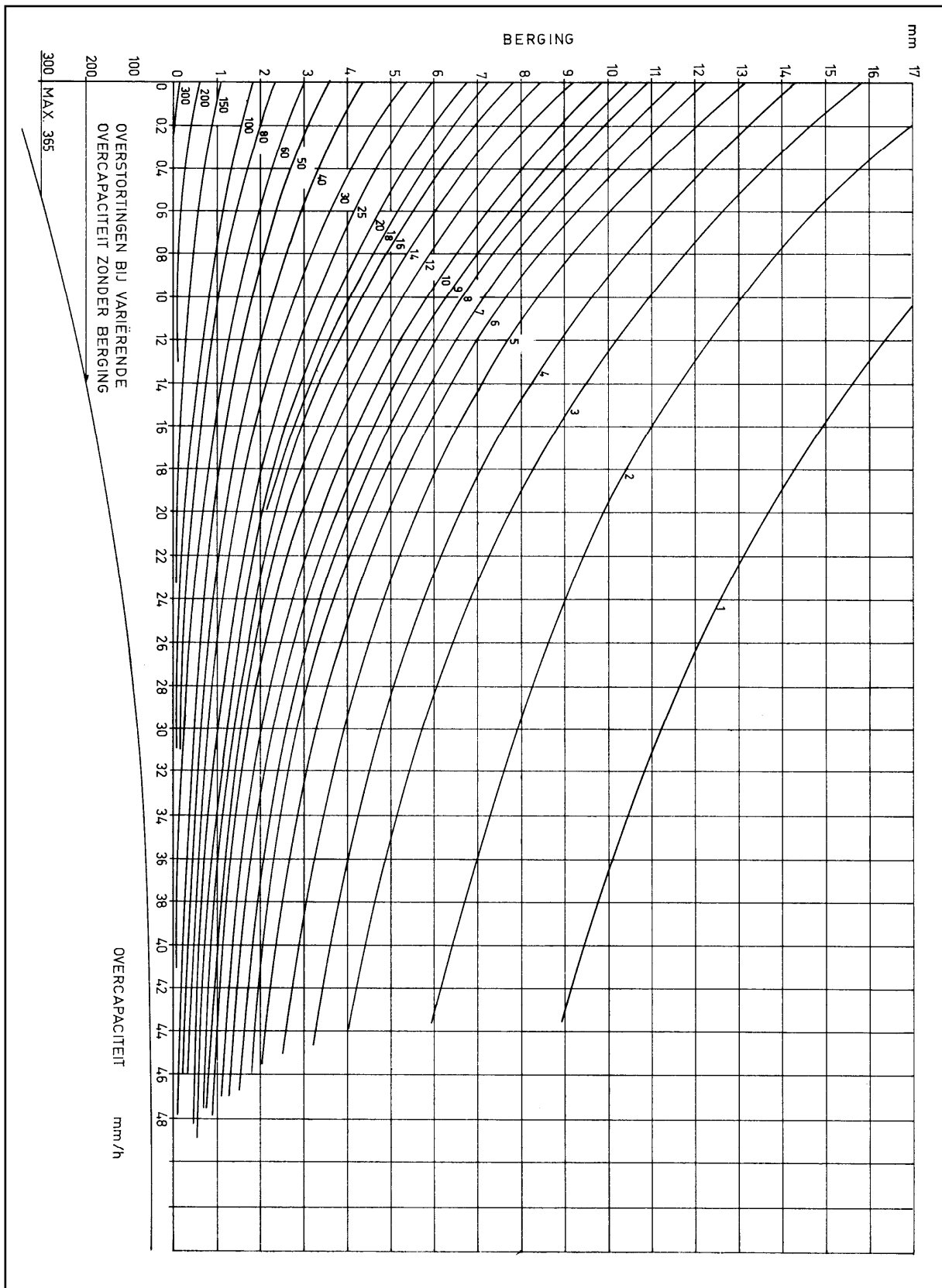
De Chezy coëfficiënt is gedefinieerd als:

$$C = 18^{10} \log \left[\frac{12 R_h}{k_n} \right]$$

Waarin:

C	Chezy coëfficiënt in $m^{0.5}/s$
R_h	hydraulische straal in m
k_n	wandruwheid in m

Veldkampgrafiek



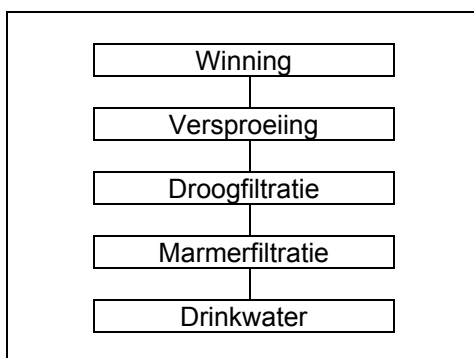
1. Grondwater

De ruw water samenstelling van pompstation Helden te Limburg is gegeven in tabel 5.

Tabel 5 – Watersamenstelling van het grondwater van pompstation Helden.

Parameter	Waarde
Temperatuur	10
Na ⁺ (mg/l)	15
Ca ²⁺ (mg/l)	28
Mg ²⁺ (mg/l)	9,7
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,15
Cl ⁻ (mg/l)	27
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	12,2
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	103
Fe ²⁺ (mg/l)	8
O ₂ (mg/l)	0
CO ₂ (mg/l)	?
pH (-)	5.76

Het grondwater dat op pompstation Helden wordt gewonnen (voor watersamenstelling zie tabel 5) ondergaat het volgende zuiveringsproces (zie afb. 1).



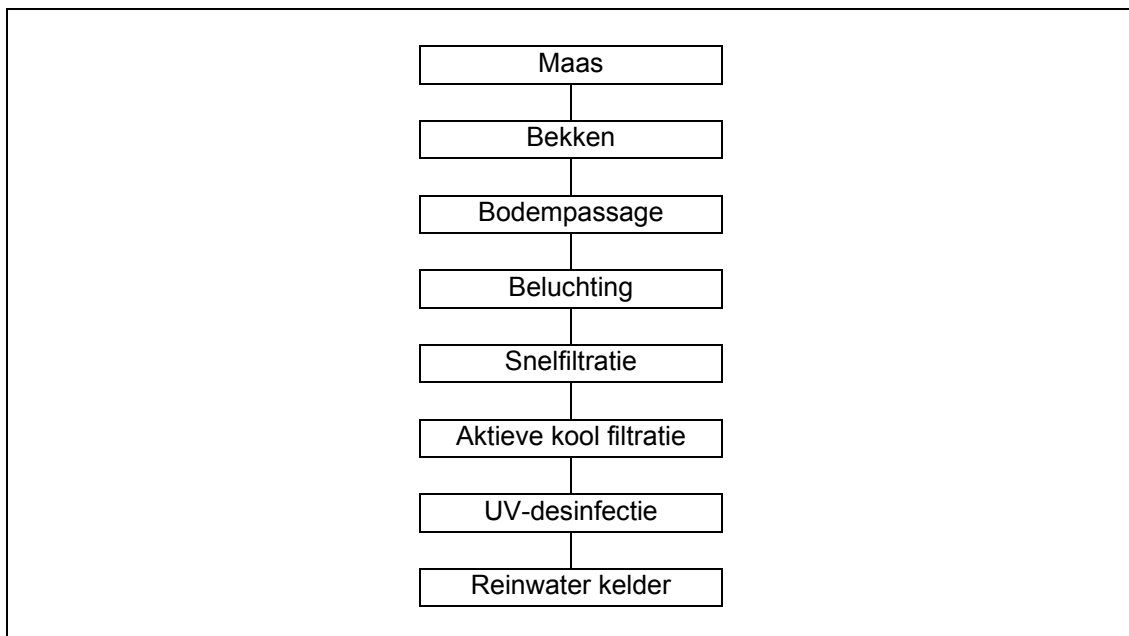
Afb. 1 – Zuiveringsschema pompstation Helden.

Gevraagd:

- 1.1 Geef aan met wat voor een soort grondwater we hier te maken hebben.
- 1.2 De verzadigingsconcentratie van zuurstof in water in contact met de lucht onder atmosferische omstandigheden bedraagt 10 mg O₂/l. Verklaar waarom het zuurstofgehalte van het grondwater dat ter plaatse van pompstation Helden gewonnen wordt lager is dan de verzadigingsconcentratie.
- 1.3 Bereken de concentratie koolzuur in het ruwe water.
- 1.4 Bepaal de Saturatie-Index van het ruwe water.
- 1.5 Bereken het zuurstofverbruik noodzakelijk voor de omzetting van ammonium in het droogfilter.
- 1.6 Wat zijn de functies van de versproeiing, droogfiltratie en marmerfiltratie? Geef aan welke stoffen door ieder proces veranderen.

2. Oppervlaktewaterzuivering

Bij Heel in Limburg is een groot oppervlaktewaterproject gebouwd, waarvan in afb. 2 het zuiveringsschema is gegeven. De samenstelling van het Maaswater staat weergegeven in tabel 6.



Afb. 2 – Zuiveringsschema oppervlaktewaterproject Heel.

Tabel 6 – Gemiddelde waterkwaliteit van de Maas.

Parameter [eenheid]	Waarde	Parameter [eenheid]	Waarde
Temperatuur [°C]	13,5	IJzer [mg/l]	0
Zwevende stof [mg/l]	13	Mangaan [mg/l]	0
Troebelheid [NTU]	10	Ammonium [mg/l]	0
pH [-]	7,7	Atrazine [µg/l]	0,18
Chloride [mg/l]	61	Diuron [µg/l]	0,22
Calcium [mg/l]	63	DOC (mg/l)	5
Waterstofcarbonaat [mg/l]	100	Koloniegetal, 22°C [n/ml]	3000
Zuurstof [mg/l]	9,7	E-coli's [n/100 ml]	4800
Koolzuur [mg/l]	1,0		

- 2.1 Het volume van het bekken bedraagt 5.5 mln m³, de oppervlakte is 100 ha, de toegestane peilvariatie is 0.3m. Het debiet van de zuivering bedraagt 55000 m³/d. Bereken de procentuele afbraak van bacteriën voor een propstroom en volledig gemengd bekken bij een afbraak coëfficiënt van 0.25 d⁻¹.
- 2.2 Wat zijn in dit zuiveringsschema de functies van de bodempassage en geef aan welke parameters in welke mate veranderen?
- 2.3 Beluchting vindt in deze zuivering plaats met cascades. Waarom is voor dit type beluchting gekozen en niet voor plaat-, sproei- of torenbeluchting?
- 2.4 Wat zijn de functies van de actieve koolfiltratie en geef aan welke parameters in welke mate veranderen?
- 2.5 Wat zijn de functies van de UV-desinfectie en geef aan welke parameters in welke mate veranderen?

Vraag 3 Riolering

De wijk 'Kleiburg', met een verhard oppervlak van 11 ha heeft een gemengd rioolstelsel. De ondergrond in de wijk is slecht doorlatend. De onderdrempelberging in het stelsel bedraagt 1000 m^3 en de pompoevercapaciteit is $72 \text{ m}^3/\text{h}$. Het rioolstelsel heeft 1 overstort. In de wijk treedt bij hevige regenval regelmatig wateroverlast op.

3.1. Bepaal de huidige overstortingsfrequentie met behulp van de Veldkampgrafiek

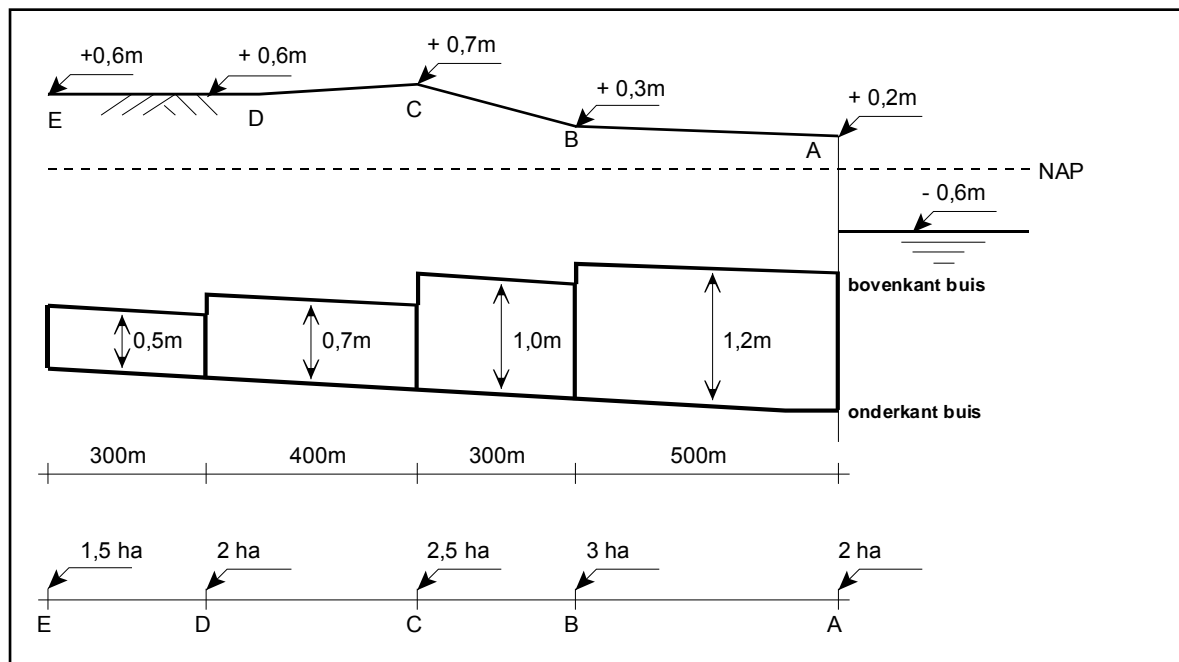
3.2 De gemeente heeft de keuze uit 3 maatregelen om het wateroverlastprobleem op te lossen:

1. vergroten van een aantal buisdiameters;
2. vergroten van de pompoevercapaciteit;
3. verminderen van het op de riolering aangesloten verhard oppervlak

Zet de maatregelen in de volgorde die volgens jou de voorkeur heeft en motiveer je keuze voor de maatregel met de meeste en die met de minste voorkeur.

De gemeente kiest voor het vergroten van buisdiameters. De gegevens van de nieuw ontworpen riolering en de af te voeren hoeveelheid water bij hevige regenval staan in onderstaande tabel en figuur. Controleer of met dit nieuwe ontwerp inderdaad geen water-op-sstraat meer optreedt. De riolering mondt uit onder water, de stroomrichting is van links naar rechts in de figuur. Het oppervlaktewaterpeil is NAP-0,6 m. Terugstroming wordt verhinderd door een terugslagklep. In de berekening mogen uitstroomb verliezen worden verwaarloosd.

Streng	Q (m ³ /s)	D (m)	C (m ^{1/2} /s)
AB	1.0	1.2	60
BC	0.8	1	60
CD	0.5	0.7	60
DE	0.3	0.5	60



4. Afvalwaterbehandeling

Gegevens

In Winterswijk wordt het afvalwater van de gehele gemeente behandeld in een rwzi. De biologische capaciteit bedraagt 40.000 v.e. en de hydraulische capaciteit is 2.000 m³/h. De rwzi bestaat in grote lijnen uit de volgende onderdelen:

- een ontvangput, waarin enkele persleidingen, waardoor het afvalwater wordt aangevoerd, uitmonden;
- een fijnrooster met een spleetbreedte van 5 mm met een capaciteit van maximaal 2.000 m³/h;
- een vlakzandvanger, vierkant met afmetingen 8 m * 8 m (breedte * lengte), waarbij het afbezonden materiaal in een aparte unit gewassen wordt;
- een omloopcircuit met 3 puntbeluchters (Carroussel); inhoud 10.000 m³, waterdiepte 4 m;
- 2 nabezinktanks elk met een diameter van 40 m en een zijwaterdiepte van 2 m;
- 1 indikker met een diameter van 8 m en een zijwaterdiepte van 4 m, waarin het surplusslib wordt ingedikt.

Verdere gegevens:

- $Q_{dwa-max} = 500 \text{ m}^3/h$
- $Q_{dag} = 6.000 \text{ m}^3/d$
- BZV per v.e. = 54 g/d
- slibproductie per v.e. = 40 g ds/d
- slibgehalte = 4 kg/m³
- slibvolume-index (SVI) = 120 mL/g ds

Vragen

- 4.1 Controleer aan de hand van de oppervlaktebelasting of de zandvanger juist is gedimensioneerd. Wat moet de waterdiepte minimaal zijn?
- 4.2 Wat is de gemiddelde verblijftijd van het afvalwater in de rwzi?
- 4.3 Wat is de slibbelasting van het actiefslibstelsysteem? Is het daarmee een hoog- of laagbelast systeem?
- 4.4 Bereken de gemiddelde BZV van het influent. Schat de BZV van het effluent.
- 4.5 Bereken het benodigde retourslibdebiet onder dwa-condities
- 4.6 Bereken de drogestofbelasting van de slibindikker.
- 4.7 Hoe vindt in de beluchtingstank nitrificatie en denitrificatie plaats?
- 4.8 Hoe kan ook biologische fosfaatverwijdering worden gerealiseerd?
- 4.9 Wat is de oppervlaktebelasting van de nabezinktanks?
- 4.10 Wat zou een dergelijke installatie kosten (aan investering)? 10, 20, 40, 80 M€ ?

ANTWOORDEN

Vraag 1

- 1.1 Anaeroob grondwater, er is geen zuurstof aanwezig en wel ammonium en ijzer (2-waardig)
- 1.2 Door allerlei afbraakprocessen van organische stof in de ondergrond is het zuurstof verbruikt. Het grondwater staat niet in verbinding met de atmosfeer en daarom wordt de zuurstofconcentratie niet aangevuld.

- 1.3 De koolzuurconcentratie van het water wordt berekend door gebruik te maken van de 1^e dissociatievergelijking van koolzuur:



De pH bedraagt 5.76 en de concentratie HCO_3^- bedraagt 12,2 mg/l ofwel 0,2 mmol/l. Na omschrijving van de vergelijking naar p-waarden (natuurlijke logaritmen), volgt

$$\text{pH} = -\log(K_1) - \log\left(\frac{[\text{CO}_2]}{[\text{HCO}_3^-]}\right) \rightarrow 5,76 = 6,46 - \log\left(\frac{[\text{CO}_2]}{0,2}\right) \rightarrow [\text{CO}_2] = 1,0 \text{ mmol/l}$$

- 1.4 Bij de berekening of het water kalkagressief of kalkafzettend is wordt gebruik gemaakt van de vergelijking

$$\text{SI} = \text{pH} + \log(K_2) + 2 \cdot \log[\text{HCO}_3^-] - \log(K_s) - \log(2) \\ 5,76 - 10,49 - 7,40 + 8,41 - 0,30 = -4,02$$

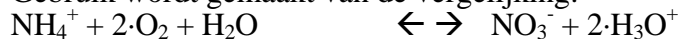
De SI is kleiner dan 0, dus is het water kalkagressief.

Een andere methode is het berekenen van de evenwichtconcentratie van koolzuur met de vergelijking $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \cdot \text{HCO}_3^-$. De evenwichtconstante van deze vergelijking bedraagt $4,11 \cdot 10^{-5}$. De concentraties aan HCO_3^- en Ca^{2+} zijn bekend, waardoor de evenwichtsconcentratie aan CO_2 te berekenen is.

$$[\text{CO}_2]_{\text{evenwicht}} = \frac{[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{HCO}_3^-]^2}{K_a} = \frac{(0,7 \cdot 10^{-3}) \cdot (0,2 \cdot 10^{-3})^2}{4,11 \cdot 10^{-5}} = 6,8 \cdot 10^{-7} \text{ mol/l} = 6,8 \cdot 10^{-4} \text{ mmol/l}$$

De evenwichtsconcentratie is kleiner dan de concentratie in het grondwater. Er is dus een overmaat aan CO_2 , dus is het water kalkagressief.

- 1.5 Gebruik wordt gemaakt van de vergelijking:



$$0,15 \text{ mg/l NH}_4^+ = 0,0083 \text{ mmol/l}$$

De omzetting van iedere mmol/l NH_4^+ kost 2 mmol/l O_2 , dus er wordt 0,0166 mmol/l O_2 gebruikt. Dit komt overeen met 0,533 mg/l O_2 .

- 1.6 Versproeiing: inbreng zuurstof, uitdrijving van koolzuur, dus O_2 stijgt, CO_2 daalt, pH stijgt
Droogfiltratie: omzetting van ijzer en ammonium, Fe daalt, NH_4^+ daalt, O_2 daalt, NO_3^- stijgt, pH, HCO_3^- daalt, pH daalt
Marmerfiltratie: Conditioneren van het water, water in kalk-koolzuren evenwicht brengen. Ca neemt toe, HCO_3^- neemt toe, pH neemt toe, CO_2 neemt af.

- 2.1 Propstroming: $N_e = N_0 * e^{-k_0 * T} \rightarrow N_e / N_0 = e^{-0.25 * 100} = 1.38 * 10^{-11}$
Volledig gemengd bekken: $N_e = N_0 / (1 + k_0 * T) \rightarrow N_e / N_0 = 1 / (1 + 0.25 * 100) = 0.038$
- 2.2 Functie: afdoding micro-organismen, afvlakking, voorraadvorming;
Parameters: zwevende stof wordt lager, troebelheid wordt lager, toename ijzer, mangaan en ammonium, zuurstof neemt af, koolzuur neemt toe, E-coli's en koloniegetal neemt af
- 2.3 Cascade beluchting is de meest eenvoudige beluchtingsmethodes en voldoende voor de zuivering. Er zit niet veel ijzer en mangaan in het water, er hoeft alleen maar een beetje zuurstof toegevoegd te worden.
- 2.4 Functie: verwijderen bestrijdingsmiddelen; Parameters: atrazine en diuron nemen af, zuurstofgehalte neemt iets af
- 2.5 Functie: desinfectie, afdoding micro-organismen; Parameters: koloniegetal en E-coli's worden lager